

На правах рукописи

Башмаков Игорь Андреевич

**РАЗРАБОТКА НАВЕСНОГО СЕКЦИОННОГО ПЛУГА
С ИЗМЕНЯЕМОЙ ШИРИНОЙ ЗАХВАТА
ДЛЯ АГРЕГАТИРОВАНИЯ С ТРАКТОРАМИ
МОЩНОСТЬЮ 200-250 КВТ**

**Специальность 05.20.01 – Технология и средства
механизации сельского хозяйства**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

Научный руководитель: **Бойков Василий Михайлович,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Борисенко Иван Борисович,**
доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»

Ишкин Павел Александрович,
кандидат технических наук,
Врио проректора по научной работе
ФГБОУ ВО «Самарский ГАУ»

Ведущая организация: ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока», г. Саратов

Защита диссертации состоится «__» ____ 2021 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ и на сайте www.sgau.ru.

Отзывы на автореферат направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.

E-mail: chekmarev.v@yandex.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Чекмарев
Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В технологии производства сельскохозяйственных культур значительное место занимает основная обработка почвы, закладывающая «фундамент» будущего высококачественного урожая. Обработка почвы, выполняемая лемешно-отвальными плугами, является наиболее энергоемкой операцией в растениеводстве, на которую затрачивается до 40% всей потребляемой энергии.

В Российской Федерации для основной обработки почвы широко используются пахотные агрегаты, состоящие из тракторов мощностью 200-250 кВт и многокорпусных плугов, соединенных по навесной, полунавесной или прицепной схеме. При последовательном ступенчатом расположении корпусов плуги имеют большую длину и массу, влияющие на эксплуатационно-технологические показатели пахотных агрегатов: возрастают размеры поворотных полос и время холостых поворотов; усложняется копирование рельефа поля и происходит неравномерная обработка почвы по глубине. Возникают проблемы при выглублении и заглублении, устойчивости и надежности. Большая длина навесных плугов значительно увеличивает нагрузку на задний мост трактора и снижает безопасность пахотного агрегата.

Снизить длину многокорпусных плугов возможно путем размещения корпусов не на одной секции, а на нескольких параллельных секциях и применением корпусов плугов серии ПБС с низким удельным сопротивлением, разработанных в Саратовском ГАУ. Для загрузки тракторов на установленной агротехническими требованиями скорости движения, конструкция секционного плуга должна изменяться по ширине захвата.

Таким образом, разработка навесного многокорпусного секционного плуга с изменяемой шириной захвата, обеспечивающего рациональную загрузку трактора в диапазоне агротехнически допустимых скоростей движения, представляет собой актуальную научно-техническую задачу, имеющую важное хозяйственное значение.

Работа выполнена в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 717 от 14 июля 2012 г. «О

Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы», а также с Концепцией развития агропромышленного комплекса Саратовской области до 2020 года (п.3.4.3 «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК»).

Степень разработанности темы. Существенным резервом повышения производительности пахотных агрегатов является увеличение ширины захвата плуга. Однако при ее больших значениях непропорционально увеличивается длина плуга.

Исследования В.В.Синеокова, И.М.Панова, А.П.Спирина, А.И.Любимова, А.Б.Лурье, Я.П.Лобачевского, В.А.Сакуна, П.Н. Бурченко, В.В.Бледных, В.В.Шарова, С.А.Золотарева, В.М.Бойкова, С.В.Старцева и др. показывают, что дальнейшее увеличение ширины захвата плугов для агрегатирования с тракторами большой мощности, при классической ступенчатой схеме расположения корпусов, должно базироваться на новых технологических принципах.

На основании условий работы пахотного агрегата определена ширина захвата плуга, позволяющая рационально загружать тракторы мощностью 200-250 кВт, и проведено сравнение производительности пахотных агрегатов с различной кинематической длиной. Разработан технологический процесс основной обработки почвы, выполняемый модернизированными корпусами плугов ПБС, созданными в Саратовском ГАУ и расположенными в несколько самостоятельных секций. Обоснованы принципиальные и конструктивно-технологические схемы навесных секционных плугов с изменяемой шириной захвата и выравнивателями поверхности пашни, а также определены основные параметры плугов и эксплуатационно-технологические показатели пахотных агрегатов.

Цель работы – улучшение эксплуатационно-технологических показателей работы пахотных агрегатов путем разработки навесного секционного плуга с изменяемой шириной захвата для агрегатирования с тракторами мощностью 200-250 кВт.

Объект исследования. Объектом исследования является технологический процесс основной отвальной обработки почвы, выполняемый навесным секционным плугом с изменяемой шириной

захвата, оснащенным приспособлениями для выравнивания поверхности пашни.

Предмет исследования. Закономерности изменения производительности пахотных агрегатов и качества обработки почвы при взаимодействии навесного секционного плуга с обрабатываемым слоем почвы.

Задачи исследования:

1. Провести анализ эксплуатационно-технологических показателей пахотных агрегатов, состоящих из тракторов мощностью 200-250 кВт и лемешно-отвальных плугов общего назначения.

2. Разработать технологический процесс основной обработки почвы и обосновать конструктивно-технологическую схему навесного секционного плуга с изменяемой шириной захвата.

3. Теоретически определить эксплуатационно-технологические показатели работы пахотного агрегата, состоящего из тракторов мощностью 200-250 кВт и секционного плуга.

4. Провести экспериментальные исследования технологического процесса основной обработки почвы, выполняемого навесным секционным плугом с изменяемой шириной захвата.

5. В хозяйственных условиях определить экономическую эффективность применения пахотного агрегата, состоящего из тракторов мощностью 200-250 кВт и предлагаемого секционного плуга.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

– разработке технологического процесса основной отвальной обработки почвы, выполняемого плугом с модернизированными корпусами плугов серии ПБС, расположенными ступенчато на нескольких параллельных секциях и приспособлениями для выравнивания поверхности пашни;

– обосновании принципиальных и конструктивно-технологических схем навесного секционного плуга с изменяемой шириной захвата, получении эмпирических и аналитических выражений для определения основных параметров плуга и эксплуатационно-технологических показателей пахотного агрегата.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработан технологический процесс основной обработки почвы и конструктивно-технологическая схема секционного плуга с

изменяемой шириной захвата и приспособлениями для выравнивания поверхности пашни. Получены эмпирические и аналитические выражения для определения параметров плуга и эксплуатационно-технологических показателей пахотного агрегата.

Рациональная загрузка трактора К-701, при агрегатировании навесного секционного плуга, позволяет обеспечить производительность за 1 час основного времени пахотного агрегата на скорости 2,1 м/с: при ширине захвата 6,08 м - 4,82 га; при ширине захвата 5,32 м - 3,92 га; при ширине захвата 4,56 м - 3,44 га. Удельный расход топлива составляет 13,5–16 кг/га. При этом качество выполнения технологического процесса соответствует агротехническим требованиям, предъявляемым к основной отвальной обработке почвы.

Методология и методы исследований. Методология основана на системном подходе, который позволяет раскрыть сущность объекта исследований и выявить связь между трактором, плугом и обрабатываемым пахотным слоем. В общую методику исследований включены: анализ тракторов мощностью 200-250 кВт отечественного и зарубежного производства и широкозахватных многокорпусных плугов, выполненных в навесном, полунавесном и прицепном вариантах; определение ширины захвата плуга с модернизированными корпусами плугов ПБС, позволяющего рационально загружать тракторы в диапазоне мощности 200-250 кВт; определение производительности пахотного агрегата в зависимости от его кинематических параметров; разработка технологического процесса основной обработки почвы, выполняемого корпусами, расположенными в несколько самостоятельных рядов; разработка принципиальной и конструктивно-технологической схемы секционного плуга с изменяемой шириной захвата, укомплектованного модернизированными корпусами и приспособлениями для выравнивания поверхности пашни, а также получение эмпирических и аналитических выражений для определения эксплуатационно-технологических показателей пахотного агрегата.

Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений классической механики и теории эксплуатации машинно-тракторных агрегатов. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с действующими ГОСТ,

ОСТ и СТО АИСТ. Результаты обработаны с использованием статистических методов и программ персонального компьютера.

Положения, выносимые на защиту:

- технологический процесс основной обработки почвы, выполняемый плугом с модернизированными корпусами плугов ПБС, расположенными ступенчато на параллельных секциях;

- принципиальные и конструктивно-технологические схемы навесного секционного плуга с изменяемой шириной захвата и приспособлениями для выравнивания поверхности пашни;

- эмпирические и аналитические выражения для определения основных параметров предлагаемого плуга и эксплуатационно-технологических показателей пахотного агрегата.

Степень достоверности и апробация результатов. Теоретические исследования подтверждены экспериментальными опытами с достоверной вероятностью 0,95. Результаты исследований доложены и одобрены на научно-практических конференциях кафедры «Техническое обеспечение АПК» Саратовского ГАУ им. Н.И.Вавилова (Саратов, 2017-2020 гг.); на Международной научно-практической конференции «Единство и идентичность науки: Проблемы и пути решения» (Пенза, 2019г.); на Международной научно-практической конференции «Закономерности и тенденции инновационного развития общества» (Волгоград, 2019г).

Публикации. По результатам исследования опубликовано 9 печатных работ, в т. ч. 5 - в рецензируемых научных изданиях, 1 патент на изобретение. Общий объем публикаций - 3,2 печ. л., из которых 1,1 печ. л. принадлежит лично соискателю.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Она изложена на 111 страницах компьютерного текста, содержит 23 таблицы, 72 рисунка и 13 приложений. Список использованной литературы включает в себя 119 наименований, в том числе 6 – на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснованы актуальность и значимость темы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» рассмотрены агротехнические требования (АТТ), предъявляемые к лемешно-отвальным плугам общего назначения, современные тракторы мощностью 200-250 кВт отечественного и зарубежного производства и их технические характеристики, классические лемешно-отвальные плуги, лемешно-отвальные плуги серии ПБС с комбинированными корпусами, секционные плуги с классическими корпусами агрегируемые с тракторами мощностью 200-250 кВт. Приведены результаты исследований пахотных агрегатов с этими плугами и определены направления дальнейшего совершенствования плугов общего назначения.

Развитию исследований в области механизации процессов основной отвальной обработки почвы способствовали труды основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина и продолжателей его идей И.М.Панова, П.Н.Бурченко, Т.С. Мальцева, В.И.Румянцева, А.И.Любимова, Я.П.Лобачевского, В.М. Бойкова, А.Т.Вагина, Н.В.Щучкина, А.П. Спирина, В.М. Мацепуро, А.П.Грибановского, Н.М.Соколова, А.В.Мачнева, М.П.Ерзамаева и др. Проанализированы работы эффективности использования пахотных агрегатов Г.В.Веденяпина, В.И. Вайнруб, В.В.Кацыгина, С.А.Иофинова, Ю.К.Киртбая, А.А.Зангиева, С.В.Старцева и других ученых.

В настоящее время для основной обработки почвы широко применяют тракторы мощностью 200–250 кВт отечественного (К-701, К-744 и их модификации) и зарубежного (Беларус 3022.2, John Deere 8330, New Holland T7.270, Claas Axion 840, Versatule Buhler 305 и др.) производства в агрегате с навесными, полунавесными или прицепными многокорпусными плугами, со ступенчатой схемой расстановки корпусов шириной захвата 3,2-5,05 м. При этом данные плуги имеют большую длину от 6,9 до 21,5 м, обладают большой массой и низкой

маневренностью. Это снижает эксплуатационные показатели работы агрегатов, особенно на полях с короткими гонами.

С целью снижения существующих недостатков многокорпусных плугов в Саратовском ГАУ под руководством доктора технических наук, профессора В.М. Бойкова были разработаны комбинированные корпуса к навесным и прицепным плугам серии ПБС. Результаты их исследований агрегатирования с тракторами мощностью 200-250кВт показали, что применение комбинированных корпусов обеспечивает высокие эксплуатационные показатели с рабочей шириной захвата плугов 4,8-6,95 м, при длине 5,7-12,4 м. Значительно уменьшить длину плуга позволяет секционная расстановка корпусов на раме плуга. Поэтому дальнейшее повышение эффективности пахотных агрегатов возможно с применением в секционных плугах корпусов плугов ПБС, что при сокращении длины позволит еще улучшить эксплуатационно-технологические показатели агрегатов на основной обработке почвы.

Во **второй главе** «Теоретическое обоснование технологического процесса и конструктивно-технологической схемы навесного секционного плуга с изменяемой шириной захвата для агрегатирования с тракторами мощностью 200-250 кВт» определена ширина захвата плуга для агрегатирования с тракторами мощностью 200-250 кВт, проведен анализ кинематических параметров и показателей многокорпусных пахотных агрегатов. Разработан технологический процесс основной обработки почвы, выполняемый секционным плугом, обоснованы схемы расстановки корпусов на раме и длина плуга. Разработаны принципиальная и конструктивно-технологическая схемы навесного секционного плуга с изменяемой шириной захвата и приспособлениями для выравнивания поверхности пашни.

При определении ширины захвата плуга, укомплектованного комбинированными корпусами плугов ПБС, принято положение; что при минимальной глубине обработки почвы должна быть максимальная ширина захвата плуга, а при увеличении глубины обработки ширину захвата следует уменьшать, при этом должно выполняться следующее условие:

$$P_T = R_{пл}; v_T = v_{пл}, \quad (1)$$

где P_T – тяговое усилие трактора при максимальной мощности, кН; $R_{пл}$ – тяговое сопротивление плуга, кН; v_T – скорость движения трактора, м/с; $v_{пл}$ – скорость движения плуга, м/с.

Для определения тягового усилия в зависимости от скорости движения тракторов мощностью 200-250 кВт марок Claas, John Deere, New Holland, Versatile использовались результаты испытаний в лаборатории штат Ньюбраско США, и результаты испытаний К-701 на отечественных машиноиспытательных станциях. Получены следующие эмпирические зависимости тяговых усилий тракторов от скорости движения:

Claas Axion 840

$$P_T = 1,1978 v_T^2 - 26,266 v_T + 122,25; \quad (2)$$

Buhler Versatile 305

$$P_T = -3,0679 v_T^2 + 0,3842 v_T + 92,609; \quad (3)$$

John Deere 8330

$$P_T = -0,3024 v_T^2 - 17,008 v_T + 113,18; \quad (4)$$

New Holland T7.270

$$P_T = 1,8089 v_T^2 - 30,129 v_T + 118,12; \quad (5)$$

Кировец К-701

$$P_T = -3,3462 v_T^2 - 2,2374 v_T + 83,292. \quad (6)$$

Для определения тягового сопротивления разрабатываемого плуга использовали рациональную формулу академика В.П. Горячкина, которая описывает тяговое сопротивление плугов ПБС:

$$R_{пл} = 0,8G + 35,5aB_{пл} + 1,58aB_{пл}v_{пл}^2, \quad (7)$$

где G – сила тяжести плуга, кН; a – глубина обработки, м; $B_{пл}$ – ширина захвата плуга, м; $v_{пл}$ – скорость движения плуга, м/с.

По уравнениям (2)-(7) получены кривые, представленные на рисунке 1.

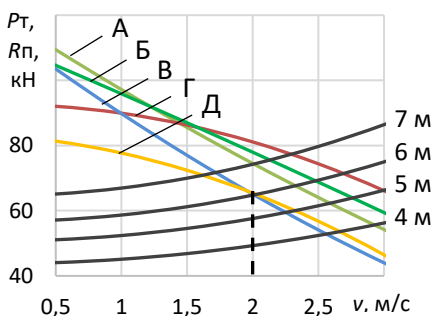


Рисунок 1 – Зависимость тягового усилия трактора P_t и тягового сопротивления плуга $R_{пл}$ от скорости движения $v_{пл}$ при глубине обработки почвы 0,2 м и ширине захвата плуга 4, 5, 6, 7 м; А - Claas Axion 840; Б - John Deere 8330; В - New Holland T7.270; Г - Buhler Versatile 305; Д – Кировец К-701

Из анализа представленных зависимостей видно, что кривые пересекаются в точках, в которых выполняется условие (1). Точки пересечения показывают, что трактор эффективно загружен при определенной ширине захвата плуга и глубине вспашки. Выполненные расчеты рациональной загрузки иностранных и отечественных тракторов при ширине захвата плуга 4, 5, 6, 7 м, глубине вспашки 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 м в допустимом АТТ диапазоне рабочих скоростей движения пахотных агрегатов, позволили принять за основу дальнейших исследований трактор К-701, ширину захвата плуга 6 м, глубину обработки почвы 0,20 м и скорость движения 2,0 м/с.

Оценку эксплуатационных показателей пахотного агрегата провели путем анализа его кинематических параметров, используя схемы на рисунке 2.

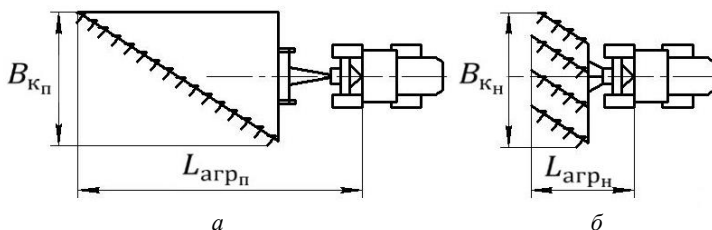


Рисунок 2 – Схемы пахотных агрегатов: а – с прицепным многокорпусным плугом; б – с навесным многокорпусным секционным плугом; $L_{агр_п}$, $B_{к_п}$ - кинематическая длина и ширина агрегата с прицепным плугом; $L_{агр_п}$, $B_{к_п}$ - кинематическая длина и ширина навесного плуга

На основании известных формул теории эксплуатации МТП определены кинематическая длина, ширина, радиус поворота, длина выезда агрегата, ширина поворотной полосы, длина рабочих и холостых ходов, время движения. При этом коэффициент использования времени смены для многокорпусного прицепного и навесного рассчитали по следующему выражению:

$$\tau = T_p / T_{см} , \quad (8)$$

где T_p – время работы пахотного агрегата, ч; $T_{см}$ – время смены, ч.

Производительность пахотного агрегата за 1 час сменного времени определили по формуле:

$$W_c = 0,36B_{пл}v_a\tau, \quad (9)$$

где v_a – скорость движения агрегата, м/с.

Зависимость сменной производительности от скорости движения пахотных агрегатов при кинематической длине $L=5,6$ м навесного многокорпусного секционного плуга и кинематической длине $L=18,6$ м прицепного многокорпусного плуга представлена на рисунке 3.

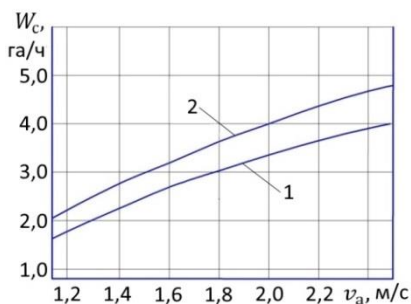


Рисунок 3 – Зависимость производительности W_c пахотного агрегата с различной кинематической длиной от скорости движения v_a : 1 – с прицепным плугом; 2 – с навесным плугом

Анализ зависимости (рисунок 3) показывает, что сменная производительность изменяется нелинейно. При этом производительность пахотного агрегата с кинематической длиной 5,6 м (2) на 13,2-13,8 % выше, чем его производительность с кинематической длиной 18,6 м (1).

Для улучшения технологических показателей работы пахотного агрегата с навесным секционным плугом модернизировали комбинированный корпус плуга ПБС и разработали технологический процесс основной обработки почвы (патент № 2715035), схема выполнения которого представлена на рисунке 4.

Технологический процесс основной обработки почвы секционным плугом осуществляется следующим образом: пласт почвы (рисунок 4, I) подрезается и крошится на глубину a . Параллельными секциями, включающими ступенчато расположенные модернизированные корпуса (рисунок 4, II), раскрошенный пласт почвы оборачивается в одну сторону (рисунок 4, III) относительно их стоек с образованием гребней q и открытых борозд e между секциями. Затем сталкивателями (рисунок 4, IV) гребни q почвы смещаются в открытые борозды e , при этом образуется профиль поля (рисунок 4, V). Далее выравниватели (VI) сглаживают поверхность пашни, которая имеет следующий профиль (рисунок 4, VII).

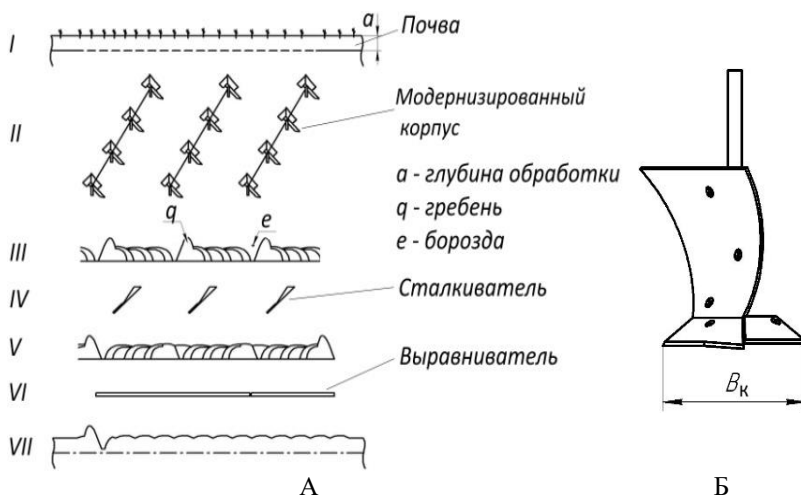


Рисунок 4 – А- Схема технологического процесса основной обработки почвы
Б – Модернизированный корпус плуга ПБС

На основе анализа технологического процесса (рисунок 4) и выражений расчета параметров плуга, для снижения размеров борозд, гребней и повышения степени крошения почвы установлены параметры секционного плуга: ширина захвата 6,0 м; количество секций 4 шт.; количество корпусов 16 шт.; ширина захвата корпуса 0,38 м; ширина захвата отвала 0,25 м.

Принципиальная схема расположения модернизированных корпусов на раме секционного плуга представлена на рисунке 5.

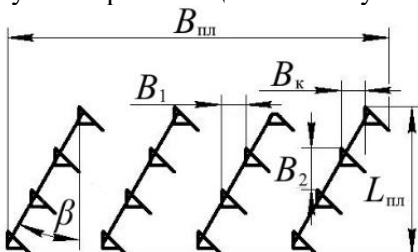


Рисунок 5 – Принципиальная схема расположения модернизированных корпусов на раме секционного плуга; $B_{пл}$ – ширина захвата плуга; $B_к$ – ширина захвата корпуса; B_1 – расстояние между корпусами по ширине; B_2 – расстояние между корпусами по длине; β – угол постановки секций плуга к направлению движения

Секционная расстановка корпусов на раме плуга (рисунок 5) позволила разработать его конструктивно-технологическую схему и приспособлений для заделки борозд и выравнивания поверхности пашни (рисунок 6).

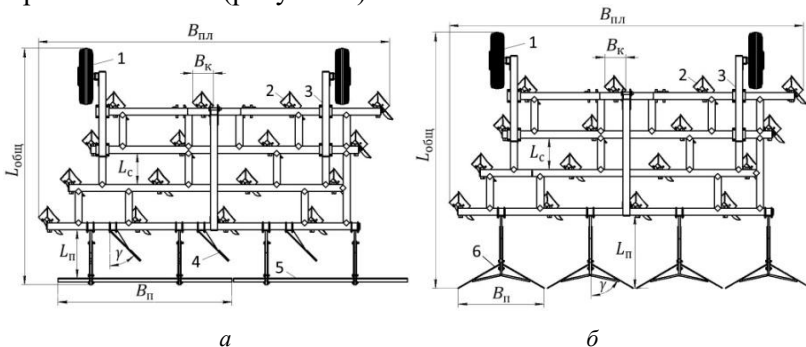


Рисунок 6 – Конструктивно-технологическая схема навесного секционного плуга с приспособлениями: *a* - № 1; *б* - № 2; L_c – длина секции; $L_{пл}$, $B_{пл}$ – длина и ширина приспособлений; $L_{общ}$ – общая длина плуга; 1 – колесный узел; 2 – корпус плуга; 3 – рама плуга; 4, 6 – стalkerватели; 5 – выравниватель пашни

Теоретически установлено, что тяговое сопротивление сталкивателя, выравнивателя пашни, последнего корпуса с учетом скорости движения, физико-механических свойств и высоты гребня почвы имеет незначительную величину. Окончательно технологические показатели работы приспособлений устанавливали при экспериментальных исследованиях плуга.

Угол постановки сталкивателя γ (рисунок 6) определяли из условия:

$$\gamma < 90^\circ - \varphi,$$

где φ – угол трения почвы по материалу стелкивателя, град.

Для реализации разработанного технологического процесса обработки почвы и обеспечения рациональной загрузки трактора, при работе секционного плуга на разных глубинах, изменяли ширину захвата плуга количеством корпусов на раме. Сокращали количество крайних корпусов с первой и четвертой секций плуга. При съеме двух корпусов ширина захвата плуга составила 5,32 м, четырех – 4,56 м, шести – 3,8 м. Установленные параметры секционного плуга с модернизированными корпусами использовали для расчета эксплуатационно-технологических показателей пахотного агрегата.

В соответствии с условием (1) получили следующее уравнение:

$$-3,34v_a^2 - 2,23v_a + 83,29 = 0,8G + 31,5aB_{пл} + 1,58aB_{пл}v_a^2, \quad (11)$$

где v_a - скорость движения пахотного агрегата при рациональной загрузке трактора, м/с.

Преобразовав квадратное уравнение (11) к виду многочлена 2-й степени и решив его, получили скорость движения пахотного агрегата при заданных параметрах плуга и рациональной загрузке трактора:

$$v_a = \frac{-2,23 \pm \sqrt{2,23^2 - 4(1,58aB_{пл} + 3,34)(83,29 - 0,8G - 31,5aB_{пл})}}{2(1,58aB_{пл} + 3,34)}. \quad (12)$$

Тогда мощность N_a пахотного агрегата, затрачиваемая на обработку почвы, кВт:

$$N_a = R_{пл} \frac{-2,23 \pm \sqrt{2,23^2 - 4(1,58aB_{пл} + 3,34)(83,29 - 0,8G - 31,5aB_{пл})}}{2(1,58aB_{пл} + 3,34)} \quad (13)$$

Часовая производительность $W_ч$ пахотного агрегата, га/ч:

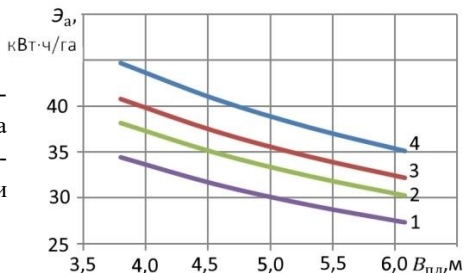
$$W_ч = 0,36B_{пл} \frac{-2,23 \pm \sqrt{2,23^2 - 4(1,58aB_{пл} + 3,34)(83,29 - 0,8G - 31,5aB_{пл})}}{2(1,58aB_{пл} + 3,34)} \quad (14)$$

Энергоемкость \mathcal{E}_a пахотного агрегата, кВт·ч/га:

$$\mathcal{E}_a = N_a / W_ч. \quad (15)$$

Зависимость энергоемкости пахотного агрегата при обработке почвы от ширины захвата плуга представлена на рисунке 7.

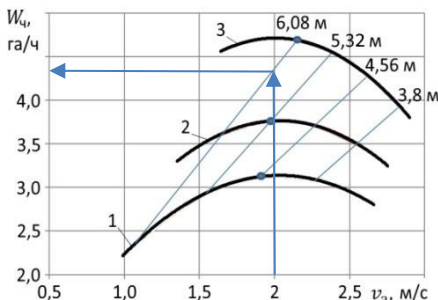
Рисунок 7 – Зависимость энергоёмкости \mathcal{E}_a агрегата при обработке почвы от ширины захвата плуга при глубине a соответственно 1 – 0,18; 2 – 0,22; 3 – 0,25 и 4 – 0,30 м



Анализ зависимостей показывает, что энергоёмкость пахотного агрегата при рациональной загрузке трактора, за счет изменения ширины захвата плуга и скорости движения, на определенной глубине обработки изменяется по нелинейной закономерности от 27 до 44 кВт·ч/га.

Используя выражения (13)-(15), получили номограмму расчета часовой производительности пахотного агрегата, при рациональной загрузке трактора К-701, изменением ширины захвата плуга, глубины обработки почвы и скорости движения трактора (рисунок 8).

Рисунок 8 – Номограмма определения эксплуатационно-технологических показателей пахотного агрегата в составе трактора К-701 и секционного плуга ширины захвата $B_{плл}$ = 6,08 м, 5,32 м, 4,56 м и 3,80 м при обработке почвы на глубину l – 0,3 м; 2 – 0,25 м; 3 – 0,2 м



Из рисунка 8 видно, что при скорости движения 2,0 м/с, глубине вспашки 0,22 м, ширине захвата плуга 6,08 м и рациональной загрузке трактора К-701 производительность пахотного агрегата за 1 час основного времени, составит 4,2 га. Дальнейшее увеличение глубины, при работе агрегата на этом режиме, приведет к перегрузке трактора.

В **третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» изложена программа и методика исследований с описанием применяемого оборудования. При проведении исследований был использован пахотный агрегат (рисунок

9), состоящий из навесного секционного плуга с изменяемой шириной захвата, укомплектованного приспособлениями, и трактора К-701. При выполнении исследований руководствовались методиками, изложенными в ОСТ 10.4.1-2001, ОСТ 10.2.2-2002, ГОСТ 24057-88, СТО АИСТ.



Рисунок 9 – Навесной секционный плуг ПБС-16-38 с приспособлениями для выравнивания поверхности пашни в агрегате с К-701

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований навесного секционного плуга с изменяемой шириной захвата» приведены результаты исследований навесного секционного плуга ПБС-16-38 и дан анализ сходимости теоретических и экспериментальных зависимостей полученных показателей работы агрегата.

Исследования плуга ПБС-16-38 проводили на полях ФГУП "УНПО "Степное" Саратовского ГАУ Энгельского района Саратовской области в августе 2019 г. Поверхность поля была ровной. Участки - однородные по физико-механическому составу. Почва – темно-каштановая суглинистая. Влажность почвы в обрабатываемых слоях 0-0,1 м; 0,1-0,2 м; 0,2-0,3 м составляла соответственно 14,4, 18,3, 19,6 %. Твердость почвы в этих слоях - 2,7, 4,1, 4,8 МПа (по АТТ до 4 МПа). Высота растительных и пожнивных остатков 0,23-0,35 м (по АТТ до 0,25 м). На плуг устанавливали приспособления, выполненные по варианту №1 или №2 (рисунок 10, а, б).



Рисунок 10 – Плуг ПБС-16-38 с приспособлениями: а - № 1; б - № 2

В процессе исследований определяли глубину борозд, образующихся за задними корпусами секционного навесного плуга, которые заделывались приспособлениями. Установлено, что приспособление №2 при угле постановки $\gamma = 80$ град. сталкивателя более эффективно заделывает борозды, в сравнении с №1 (рисунок 11). Дальнейшее уменьшение угла γ (рисунок 9) не улучшает заделку борозды, увеличивает металлоемкость, массу и длину секционного плуга.

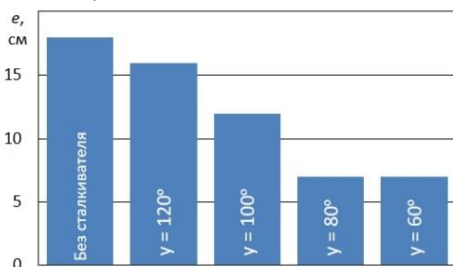


Рисунок 11 – Диаграмма изменения глубины борозды e от угла γ постановки сталкивателя.

Агротехнические показатели качества технологического процесса основной обработки почвы, выполняемого секционным плугом с приспособлением № 2, представлены в таблице 1.

Таблица 1–Агротехнические показатели процесса основной обработки почвы

Наименование показателя	Значение показателя
Скорость движения агрегата К-701+ПБС-16-38, м/с	2,11
Ширина захвата плуга (установочная), м	6,00
Глубина обработки, м:	
- установочная	0,20
- фактическая	0,19
Среднее квадратичное отклонение глубины, \pm см	1,6
Отклонение рабочей ширины захвата, \pm %	7,3
Крошение почвы, %, с размером фракций до 50 мм	92,4
Степень заделки стерни, %	86,2
Глубина, см: заделки стерни и растительных остатков борозд за последними корпусами секции	13-15 не более 8,5
Забивание рабочих органов почвой и растительными остатками	не наблюдалось
Гребнистость поверхности пашни, см	не более 4

Плуг ПБС-16-38 агрегатировали с трактором К-701. Установочная глубина обработки составляла 0,20, 0,25 и 0,3 м при ширине захвата плуга 6,08, 5,32, 4,56 и 3,8 м соответственно. Трактор

К-701 работал на оборотах двигателя 2000 мин⁻¹, соответствующих его рациональной загрузке.

Зависимости теоретической и экспериментальной производительности пахотного агрегата К-701+ПБС-16-38 за 1 час основного времени от скорости движения v_a при установочной глубине 0,20 м и ширине захвата 6,08; 5,32; 4,56 и 3,8 м приведены на рисунке 12.

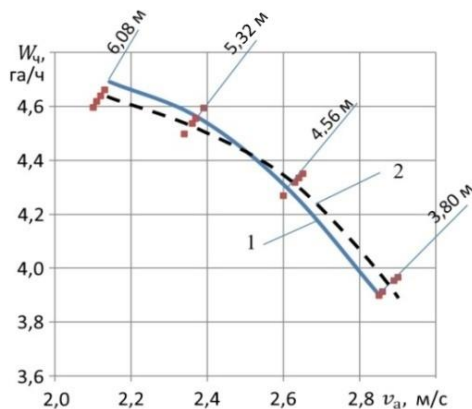


Рисунок 12 – Зависимость производительности пахотного агрегата К-701+ПБС-16-38 от скорости движения v_a при установочной глубине 0,2 м и ширине захвата плуга 6,08; 5,32; 4,56 и 3,80 м;
1-теоретическая,
2- экспериментальная

Анализ закономерности изменения экспериментальной и теоретической зависимостей (рисунок 12) показал, что они согласуются по критерию χ^2 с доверительной вероятностью 0,95.

В пятой главе «Эффективность навесного секционного плуга ПБС-16-38 с изменяемой шириной захвата» представлены результаты исследований экономической эффективности плуга ПБС-16-38 в хозяйствах Саратовской области.

В период экспериментальных испытаний установлено, что производительность агрегата К-701+ПБС-16-38 за 1 час сменного времени на глубине обработки 24,7 см, при ширине захвата плуга 4,56 м и рациональной загрузке трактора составила 2,75 га, удельный расход топлива – 13,5 кг/га. Для сравнения влияния кинематической длины плуга на показатели пахотного агрегата использовали прицепной плуг ПБС-10П шириной захвата 6,0 м и длиной 12,09 м с трактором К-744Р4. Производительность агрегата К-744Р4+ПБС-16-38 на глубине обработки 25,1 см при ширине захвата плуга 6,08 м составила 4,3 га/ч, у агрегата К-744Р4+ПБС-10П 3,65 га/ч.

Результаты расчета экономической эффективности применения секционного навесного плуга ПБС-16-38 в сравнении с навесным плугом ПНЛ-8-40 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные показатели экономической эффективности применения навесного секционного плуга ПБС-16-38

Наименование показателя	Значение показателя	
	К-701+ ПНЛ-8-40	К-701+ ПБС-16-38
Ширина захвата, м	3,2	4,56
Рабочая скорость, м/с	2,1	2,1
Кинематическая длина агрегата, м	10,4	5,6
Производительность за 1 час времени, га:		
- основного	2,42	3,44
- сменного	1,94	2,75
Затраты труда, чел.·ч/га	0,52	0,37
Снижение затрат труда, %	–	29
Себестоимость работ, руб./га	2096,7	1514,1
Снижение себестоимости работ, %	–	27,8
Годовая экономия затрат, руб.	–	803961
Срок окупаемости ПБС-16-38, год	–	0,6

Из таблицы 2 видно, что годовой экономический эффект от применения на основной отвальной обработке почвы секционного навесного плуга ПБС-16-38 в агрегате с трактором К-701 составляет 803961 руб. Срок окупаемости при эксплуатации одного плуга 0,6 года. При этом себестоимость обработки почвы навесным секционным плугом на 27,8 % ниже, чем навесным плугом ПНЛ-8-40.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Российской Федерации используются пахотные агрегаты, состоящие в основном из тракторов мощностью 200-250 кВт и многокорпусных лемешно-отвальных плугов со ступенчатым размещением корпусов на раме, с увеличением ширины захвата которых возрастает кинематическая длина снижающая эксплуатационно-технологические показатели. Применение модернизированных корпусов плугов серии ПБС и размещение корпусов на нескольких параллельных секциях позволяет изменить

соотношение ширины и длины навесного плуга, скорость движения агрегата и рационально загрузить трактор. Для получения высокого качества обработки почвы плуг необходимо комплектовать приспособлениями для выравнивания поверхности пашни.

1. Анализ пахотных агрегатов, состоящих из иностранных и отечественных тракторов мощностью 200-250 кВт и многокорпусных лемешно-отвальных плугов общего назначения показал, с увеличением ширины захвата от 3,2 до 5,05 м длина плуга возрастает в 3 раза, что снижает эксплуатационно-технологические показатели агрегатов. Это соотношение можно изменить размещением корпусов на раме плуга в несколько параллельных секций.

2. Разработан технологический процесс основной обработки почвы модернизированными корпусами плугов ПБС, включающий подрезание, крошение и оборачивание пласта почвы с образованием гребней и открытых борозд между соседними секциями, с последующим выравниванием поверхности пашни (патент №2715035). На основании полученных эмпирических выражений рациональной загрузки тракторов мощностью 200-250 кВт, анализа кинематики пахотных агрегатов установлено, что ширина захвата плуга, комплектованного корпусами плугов серии ПБС, при обработке почвы на глубину 0,2 м составляет 6,0 м.

3. На базе принятой принципиальной схемы и аналитических выражений разработана конструктивно-технологическая схема навесного секционного плуга, который состоит из рамы, двух опорных колес с механизмом регулирования глубины обработки почвы, 16 модернизированных корпусов ПБС с шириной захвата 0,38 м и расположенных ступенчато на расстоянии 0,7 м на четырех параллельных секциях. Ширина захвата плуга 6,0 м. На плуг устанавливается разработанное приспособление для выравнивания поверхности пашни. Длина плуга с приспособлением 4,37 м. За счет снятия корпусов с рамы плуг обеспечивает ширину захвата 5,32 м; 4,56 м; 3,8 м.

4. На основании разработанных выражений (11-15) определены эксплуатационно-технологические показатели пахотного агрегата. Установлено, что навесной секционный плуг с изменяемой шириной захвата от 3,8 до 6,08 м и разной скоростью движения агрегата обеспечивает рациональную загрузку трактора на

глубине обработки почвы от 0,18 до 0,30 м. При этом производительность пахотного агрегата за 1 час основного времени изменяется от 5,3 до 2,38 га, а энергоёмкость - от 27,35 до 44,7 кВт·ч/га.

5. Экспериментальными исследованиями технологического процесса основной обработки почвы, выполняемого навесным секционным плугом с изменяемой шириной захвата и приспособлениями, установлено, что плуг обрабатывает почву с качеством, соответствующим основным агротехническим требованиям с заделкой борозд при угле постановки сталкивателя $\gamma = 80$ град. За счет изменения ширины захвата плуга, скорости движения и глубины обработки почвы обеспечивается работа трактора К-701 в рациональном режиме загрузки. Анализ закономерности изменения экспериментальной и теоретической производительности пахотного агрегата при обработке почвы на глубину 0,20 м и ширине захвата плуга 6,08; 5,32; 4,56; 3,80 м подтвердил, что она согласуется с доверительной вероятностью 0,95 по критерию χ^2 .

6. Применение навесного секционного плуга ПБС-16-38 с изменяемой шириной захвата в агрегате с трактором К-701, показало, что при установочной глубине обработки почвы 0,25 м и рациональной загрузке трактора пахотный агрегат К-701+ПБС-16-38 обеспечивает производительность 2,75 га/ч, при удельном расходе топлива 13,5 кг/га. Себестоимость обработки почвы плугом ПБС-16-38 по сравнению с навесным плугом ПНЛ-8-40 ниже на 27,8%. Годовой экономический эффект от применения одного плуга ПБС-16-38 в агрегате с трактором К-701 составил 803961 руб.

Рекомендации производству. Полученные результаты можно использовать для проектирования навесных секционных плугов с изменяемой шириной захвата в агрегате с тракторами различной мощности. Необходимо организовать серийное производство секционных плугов с изменяемой шириной захвата для тракторов мощностью 200-300 кВт на специализированных заводах Российской Федерации.

Перспективы дальнейшей разработки темы - разработка навесных и прицепных секционных плугов для агрегатирования с тракторами разного тягового класса.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. *Бойков, В. М.* Разработка схемы почвообрабатывающего орудия с рациональной расстановкой чизельных рабочих органов / В.М. Бойков, С.В. Старцев, А.В. Павлов, Е.С. Нестеров, **И.А. Башмаков** // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 12. – С. 56–58.

2. *Бойков, В. М.* Технологические направления снижения энергоёмкости процесса основной обработки почвы / В. М. Бойков, И. А. Воротников, С. В. Старцев, **И. А. Башмаков** // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 11. – С. 86–88.

3. *Бойков, В. М.* Обоснование кинематических параметров и эксплуатационных показателей широкозахватных пахотных агрегатов / В. М. Бойков, И. Л. Воротников, С. В. Старцев, **И. А. Башмаков** // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 12. – С. 78–82.

4. **Башмаков, И. А.** Тенденция совершенствования лемешно-отвальных плугов общего назначения / И. А. Башмаков // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 2. – С. 73–76.

5. *Бойков, В. М.* Влияние ширины плуга на производительность пахотных агрегатов / В. М. Бойков, С. В. Старцев, А. В. Павлов, **И. А. Башмаков** // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 4. – С. 71–74.

В других изданиях

6. **Башмаков, И. А.** Основные показатели работы чизельных плугов для агрегатирования с тракторами тягового класса 3 / И. А. Башмаков, В. М. Бойков // Территория инноваций. – 2018. – № 3(19). – С. 13–15.

7. **Башмаков, И. А.** Зависимость производительности пахотных агрегатов от длины поля / И. А. Башмаков // Единство и идентичность науки: проблемы и пути решения: сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. (Пенза, 06 сентября 2019 г.). – Стерлитамак : АМИ, 2019. – 71 с.

8. **Башмаков, И. А.** Производительность пахотных агрегатов с различной кинематической длиной / И. А. Башмаков // Закономерности и тенденции инновационного развития общества : сб. ст. Междунар. науч.- практ. конф. (Волгоград, 28 августа 2019 г.) : в 2 ч. Ч. 1. – Уфа : OMEGA SCIENCE, 2019. – 181 с.

9. Комбинированное почвообрабатывающее орудие : Пат. 2715035 Рос. Федерация : МПК А01В 49/02 / В. М. Бойков, Е. В. Бойкова, С. В. Старцев, **И. А. Башмаков**, Е. С. Нестеров, А. В. Павлов : заявитель и патентообладатель Бойков В. М. - № 2019114099 ; заявл. 06.05.2019 ; опуб. 21.02.2020, Бюл. № 6.– 18 с.

